

- in transforming growth factor β 1-induced apoptosis in murine hepatocytes. *Cell Res.*, 2001;11(2):89-94
- 6 Roy C. L., Leduque P., Dubois P. M., et al. Repression of transforming growth factor β 1 protein by antisense oligonucleotide-induced increase of adrenal cell differentiated functions. *JBC*, 1996;271:11027-11033
 - 7 Docagne F., Colloc'h N., Bougueret V., et al. A soluble transforming growth factor- β (TGF- β) type I receptor mimics TGF- β responses. *JBC*, 2001;276:46243-46250
 - 8 Chadichristos C., Ghayor C., Herrouin J. F., et al. Down-regulation of human type II collagen gene expression by transforming growth factor- β 1 (TGF- β 1) in articular chondrocytes involves SP3/SP1 ratio. *JBC*, 2002;277:43903-43927
 - 9 Kakonen S. M., Selander K. S., Chirgwin J. M., et al. Transforming growth factor- β stimulates parathyroid hormone-related protein and osteolytic metastases via Smad and mitogen-activated protein kinase signaling pathway. *JBC*, 2002;277:24571-24578
 - 10 Sun P. Q., Dong P., Dai K., et al. P53-independent role of MDM2 in TGF- β 1 resistance. *Science*, 1998;282:2270-2272
 - 11 Pei-chih Hu P., Shen X., Huang D., et al. The MEK pathway is required for stimulation of p21WAF1/CIP1 by transforming growth factor- β . *JBC*, 1999;274:35381-35387

Research of TGF- β 1 Gene Expression in FSK88-Treated Cultured Rat osteosarcoma Cells (UMR106) by RT-PCR

Li Zhong-hai, Duan-Mu De-qiang, Bai Yang, Kong Min, Wang Jing-ze

State Key Laboratory of Biomembrance and Membrane Biotechnology, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080

Key words FSK88, UMR106, TGF- β 1, gene expression, RT-PCR

膨润土的改性及其在环保中的应用

叶长青 曾庆福 (华中科技大学环境科学与工程学院, 武汉科技学院环境科学研究所)

关键词 膨润土 改性 环境保护

膨润土具许多优良性能,作为一种无毒绿色环保型的高效材料,开发膨润土在环保领域的应用大有作为.本文综述了膨润土的改性方法及其在环境保护领域的应用研究现状和进展.我国膨润土储量丰富,在膨润土的开发与应用方面具有巨大的发展潜力.

环境保护是 21 世纪人类所面临的共同课题.在人类工业化和城市化的过程中,产生了大量的“三废”污染物.它们不仅给人们的工作、生活和环境带来了不利的影响,而且直接危害了人们的身体健康.为了使人类有一个美好的生存环境,有效地治理这些污染物是当今世界各国所面临的重要课题之一.在废物的治理中,废水和污水的处理是一个较难解决的问题,因为它们的数量非常大,同时悬浮物质非常稳定,很难自然沉降下来,也难以用简单的过滤方法使它们脱水.多年以来,众多的学者都在寻找有效的方法治理污水.但是,传统的一些方法耗资巨大,使得水处理成了国家的一个沉重包袱.面对各种各样的废物污染,在旧的处理方法无能为力的情况下,使得人们不得不寻找新的处理方法和新的环保材料.在当今环保产业技术领域,水处理药剂与材料是当前水工业、污染治理与节水回用净化处理工程技术领域中应用最广泛,用量最大的特殊产品.全球性研究、开发环境材料的热潮方兴未艾.鉴于此,国内外的一些研究人员把眼光放在丰富的矿产资源上,应用某些矿产所

具有的独特理化性能来开发水处理药剂治理污水.随着环境保护对环保材料提出的更高更新的要求,作为一种无毒绿色环保型的高效材料,膨润土在环保领域的研究和应用已成为一个热点.一段时期以来的应用研究发现,粘土矿物具有环境修复(如大气、水污染治理等)、环境净化(如杀菌、消毒、分离等)和环境替代(如替代环境负荷大的材料等)等功能.这些特性将使其在环保中具有巨大的应用潜力.近几年,粘土矿物在环保方面的应用越来越广泛,尤其是蒙皂类粘土矿物如累托石、膨润土(其矿物学成分为蒙脱石)等在环保水处理方面的应用研究得到了人们的重视^[1,2].

一、蒙皂类粘土矿物的改性

蒙皂类粘土矿物具有两个 Si-O 四面体和夹在它们之间的 Al-O 八面体的层状结构,通常是有序混层粘土.这种层状结构具有层间可膨胀性和阳离子可交换

性。如累托石、蒙脱石、钠板石等。累托石是二八面体云母和二八面体蒙脱石 1:1 规则间层矿物,具有良好的吸附性、离子交换性和胶体性能。对累托石的应用研究新近开始发展,目前研究较多的是膨润土(蒙脱石)。膨润土的主要成分为蒙脱石,蒙脱石是层状构造铝硅酸盐矿物,单位晶胞由两片顶角朝里的 Si-O 四面体中夹一片 Al-O(OH)或 Mg-O(OH)八面体形成一结构层,属典型的 2:1 型粘土。具有良好的吸附性、离子交换性和体积膨胀性,在水溶液中可通过吸附、离子交换、混凝等作用与污染物发生作用。低价阳离子容易置换蒙脱石四八面体中的 Si、Al 等高价离子使蒙脱石带上永久性负电,导致蒙脱石晶格内阳离子置换,这一构造特性决定了蒙脱石的一系列重要性质,如阳离子交换性、膨胀性、吸附性、分散性、流变性、可塑性、粘结性、胶体性、触变性、耐火性、润滑性等。正是由于膨润土具有如此众多的优良性能,国外已在工农业生产 24 个领域的 100 多个部门中得到广泛应用,故膨润土有万能土之称。天然蒙脱石具有较好的吸附性能,但直接用于环保领域,其效果往往不好。这是由于天然蒙脱石比表面积较小,且为亲水性物质,经高温处理其吸附性会消失,因此往往需要加以改性,增强某方面性能以有利于后续开发利用。下面介绍几种目前常用的蒙脱石改性方法:

1. 酸改性

(1) 酸处理是一种最常用的处理方法,在一定条件下,酸活化处理使 H^+ 置换蒙脱石层间可交换性金属阳离子 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等,可增强膨润土活性,可除去分布于膨润土通道中的杂质,如混杂的有机物,孔道得到疏通,有利吸附质分子的扩散。再者, H 原子半径小于 Na、Mg、K、Ca 等原子的半径,因此,体积较小的 H^+ 置换膨润土层间的 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等离子,孔容积得到增大,并削弱了原来层间的键力,层状晶格裂开,孔道被疏通,吸附性能得到提高。用无机酸处理、水洗、干燥、制成粉末状的所谓活性白土广泛用于矿物油、动植物油脂、蜡及有机液体的脱色精制^[3]。

2. 盐改性

用无机金属小离子处理是另一类改性方法,如经钠、镁盐活化改性, Na^+ 、 Mg^{2+} 离子就充当了平衡硅氧四面体上负电荷的作用,这些低电价大半径的离子和结构单元层之间作用力较弱从而使层间阳离子有可交换性。同时由于在层间溶剂的作用下可以剥离、分离成更薄的单晶片,又使膨润土具有较大的内表面积,这种带电性

和巨大的比表面积使其具有很强的吸附性。国外的一些研究发现层间含有高价态金属离子的蒙脱石对于特定有机物的吸附能力可大幅度增强,这是因为高价态金属阳离子具有更强的内层配位能力,能和周围更多的水分子结合,而水分子的 OH 基团可通过氢键与有机分子相互作用,从而吸附更多的有机分子。B. L. Sawhney 和 S. S. Singh 研究证实^[4],层间含有 Al^{3+} 的蒙脱石吸附农药莠去津(atrazine)的能力远远大于钙基蒙脱石。A. Pusino 等人^[5]用富含 Al^{3+} 、 Fe^{3+} 、 Ca^{2+} 和 Na^+ 的蒙脱石吸附除草剂(Dimefiperate),其吸附量的变化是 $Na^+ < Ca^{2+} < Al^{3+} < Fe^{3+}$ 蒙脱石。国内张金等人用富含 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Al^{3+} 和 Cr^{3+} 的蒙脱石研究对苯酚的吸附性能其吸附能力大小为 $Na^+ < Ca^{2+} < Cu^{2+} < Al^{3+} < Cr^{3+}$ ^[6]。

3. 焙烧改性

在不同温度下焙烧天然膨润土,可以先后失去表面水、水化水和结构骨架中的结合水,减小水膜对有机污染物质的吸附阻力,使膨润土的吸附性能发生变化。当焙烧温度超过 500℃ 时,膨润土将逐渐失去水化水和结构骨架中的结合水, OH^- 结构骨架破裂,层间的阳离子缩合到结构骨架上,完全丧失了离子交换的性能,其独特的卷边片状物也剥落,有利吸附的构造遭到破坏,而 450℃ 时焙烧膨润土既驱除了结构通道中的表面水,又不致破坏结构骨架和卷边构造,提高了吸附性能。因此需要控制焙烧温度。王连军等通过高温焙烧改性膨润土,用它处理后的染化废水 COD 去除率达 82%^[7]。

4. 有机铵盐改性

膨润土具有较大的表面积和阳离子交换容量,故人们常用季铵盐阳离子改性膨润土制得有机膨润土,以提高其去除水中有机物质的能力。将有机铵盐与膨润土作用,在一定条件下两者发生置换反应,有机铵盐中的有机铵阳离子取代膨润土层间可交换性阳离子,从而制得有机膨润土。有机铵盐多用季铵盐,制得的有机膨润土可提高对有机污染物的吸附能力。有机阳离子烷基链的长度和粘土矿物的层电荷大小,决定了有机阳离子在粘土矿物层间的排列方式。利用长链季铵盐有机阳离子(如十六烷基三甲基铵 HDTMA)制成的有机粘土矿物中,阳离子的 N 端被吸附在带负电荷的粘土表面,烷基链相互挤在一起形成一有机相。这一有机相的厚度取决于粘土矿物的层电荷及 R 基团的相对大小。例如 HDTMA 的烷基链可以平卧的单层(0.41 nm)、双层(0.81 nm)、准三层(1.21 nm)、甚至倾斜立式等方式排列在粘土层间。利

用短链季铵盐有机阳离子(如四甲基铵 TMA 等)制成的有机粘土矿物,有机阳离子孤立地吸附在粘土内表面中,相互不接触.由于它们的疏水性,每一阳离子周围只被 1~2 层水分子所包围,硅氧表面上不形成水膜而使其暴露在外,这类有机粘土矿物有很高的比表面积.改性后的阳离子有机膨润土的层间距和有机碳含量都大于原土,而且其层间距和有机碳含量随双阳离子中长碳链季铵盐阳离子表面活性剂加入量的增加而增加.当双阳离子的配比相同时,层间距和有机碳含量随长碳链季铵盐碳链的增长而增大.如:金辉等^[8]报道,用十八烷基三甲铵、十八烷基二甲苄铵、十六烷基三甲铵改性的膨润土对苯胺、硝基苯和十二烷基硫酸钠有较强的吸附能力,饱和吸附量可分别达 225 mg/g、266 mg/g、437 mg/g,用短碳链阳离子表面活性剂改性的有机膨润土对有机物的吸附以表面吸附为主,用长、短碳链改性膨润土对苯酚的吸附是表面吸附和分配作用共同作用的结果.尽管钙基膨润土的应用不如钠基膨润土,但经过改性的钙基膨润土同样可应用于水处理.鲍世聪等人^[9]采用十六烷基三甲基溴化铵改性钙基膨润土使得对苯酚的去除率达到 57.1%.试验还发现,粘土矿物的层孔高度是决定吸附作用能否在内表面发生的先决条件.但经十六烷基改性后的钙基膨润土,其有效层孔高度不一定大于苯酚分子外接圆直径(粘土胶联后的层孔高度为 0.68 nm,苯酚外接圆直径 0.63 nm),然而有机物的亲油性却使其易于吸附;溶液的 pH 值对吸附作用的发生与否及吸附量的大小有重要影响,苯酚及磷酸根离子在 pH 值为 3.0~4.0 的溶液中较易被吸附.

5. 阳离子聚合物改性

具有笼形结构的有机胺或无机羟基金属聚合物以离子交换的方式插入天然蒙脱石层间,垂直连接并撑开两个相邻 2:1 层,再经焙烧即形成层柱结构交联蒙脱石.用阳离子聚合物(柱化剂)交换蒙脱石层间可交换性阳离子,形成无机层间插入化合物,经加热脱氢、脱羟基,柱化剂转化为金属氧化物.这些氧化物呈柱状将蒙脱石层间撑开一个到几个分子的距离,从而增大膨润土比表面,提高其吸附性能.用这样的聚合阳离子制备的蒙脱石称为柱撑蒙脱石,如:钛基柱撑蒙脱石、铝基柱撑蒙脱石、锆基柱撑蒙脱石、铁基柱撑蒙脱石等.孙家寿等^[10]最近报道,经铝交联后,蒙脱石结构层间距可提高至 1.695 nm 左右,对废水中有机污染物具有良好的吸附效果.

6. 其他

(1) 有机处理剂与无机处理剂组合使用.在膨润土吸附剂的制备过程中,通常将有机处理剂和无机处理剂组合使用,组合处理后的膨润土同时具有亲水性和亲油性,是一种很好的水处理吸附剂.

(2) 机械力化学表面改性.利用机械力作用使粘土颗粒尺寸变小,同时进行表面化学改性使晶体结构破坏,结晶程度降低,又由于表面晶格畸变,内能变大,表面活性升高,颗粒与其他物质反应的活化能降低,从而使固体颗粒表面的各种反应得以进行,有利于进行后续的各种改性工艺.

二、改性蒙脱石在环保领域的应用研究进展

1. 在水污染治理方面

(1) 重金属离子的去除

粘土矿物主要用于化工和生活用水过滤,水中重金属离子 Hg^{2+} 、 Cd^{2+} 、 As^{3+} 、 Pb^{2+} 、 Cr^{3+} 、 Ni^{2+} 等的去除,阳离子染色物和有机污染物的吸附,以及废水中的 MH_3-N 、 $H_2PO_4^-$ 、 HPO_4^{2-} 、 PO_4^{3-} 等的清除处理.蒙脱石等粘土矿物具有较大的比表面积及离子交换容量,吸附性能较好,对废水中重金属离子的吸附处理有着特殊的功效.有关研究表明:蒙脱石原土对重金属离子具有一定的吸附能力;若用蒙脱石吸附——絮凝法处理废水中的 Pb^{2+} 、 Cr^{3+} 及 Cd^{2+} ,即用蒙脱石-聚合氯化铝交联处理废水中的重金属,则可进一步改善去除效果并提高固-液分离速度,使低浓度废水中 Pb^{2+} 等的去除率达 93.1%^[11];酸化的蒙脱石去除废水中重金属离子的效果更佳.

(2) 水中有机污染物的去除

由于天然粘土矿物存在着大量可交换的亲水性无机阳离子,使实际粘土表面通常存在一层薄的水膜,因而不能有效地吸附疏水性有机污染物.通常采用某种有机阳离子,通过离子交换,把粘土矿物中原先存在的无机阳离子置换出来,使其成为疏水性有机粘土,由于增加了粘土矿物中的有机质含量,故增强了从水中去除疏水性有机污染物的能力.近年来,国内外在这方面开展了大量研究:利用季铵盐等阳离子表面活性剂与钠型蒙脱石作用,经过离子交换将这些体积较大的有机正离子引入层间形成大孔洞材料——有机蒙脱石,再通过离

子交换作用和表面活性剂脂肪链的萃取作用来吸附有害的有机污染物。实验证明:由于有机阳离子的水合作用明显小于无机阳离子,因而有机粘土表面不宜形成水膜,进而提高了有机蒙脱石对非离子型或离子型有机污染物的吸收能力,可以有效地去除低浓度的污染物。Zielke等^[12]使用聚合羟基铝阳离子和聚合羟基铬阳离子制成的柱撑粘土,去除一氯苯酚、三氯苯酚和五氯苯酚。Srinivasan等^[13]利用聚合羟基铝阳离子柱撑蒙脱石,去除农药八氯二苯并呋喃,效果超过活性炭,同时用溶剂法再生了吸附剂。鲍世聪等报道^[9],经 $\text{Al}(\text{OH})_{2.5}^{3+}$ 和 H_2SO_4 处理的膨润土对废水中酚的最高吸附去除率可达73.88%。顾曼华等^[14]采用十六烷基吡啶(CPC),和溴化十六烷基甲铵,(CTMAB)改性膨润土,处理水中硝基苯,25℃时吸附容量分别为117.0 mg/g和87.6 mg/g,去除率为50%~60%。

(3) 离子型化合物的去除

离子型化合物一般在水中的溶解度较高,在土壤中极易迁移并污染地下水。粘土矿物表面上存在着大量的 $\text{Si}-\text{OH}$ 、 $\text{Al}-\text{OH}$ 等基团,通过适当的化学处理可使其质子化或者解离,用于吸附处理水中的阴离子污染物。对粘土矿物进行有机改性后用于此类污染物的处理,是当前的热点问题。在HDYMA过饱和的情况下,由于疏水键的形成,有机粘土表面带正电荷,可以吸附溶液中的阴离子。如HDTMA-蒙脱石可有效地去除五氯苯酚等阴离子^[15]。

(4) 脱磷

含磷废水排入水体,会引起湖泊和海洋的富营养化,严重时藻类疯长、水体发臭、鱼类死亡,严重影响水体环境并给人类带来直接经济损失。对含磷废水的净化多采用化学法或生物法。前者虽然去磷效率高,操作稳定,但产生污泥多,运行费用高;后者操作比较复杂,且脱磷效率低。近年来对改性膨润土吸附剂的研究为废水脱磷提供了一种新途径。孙家寿等^[10]采用铝交联蒙脱石吸附脱磷,当吸附剂用量为9 g/L H_2O 时,对磷吸附量为5.56 mg/g,去除率可达100%。

(5) 脱色

改性膨润土的脱色作用主要用于处理印染废水。印染废水因种类多、有机物浓度高、色度大、具有高抗氧化性、抗光性和高化学稳定性,是一种难处理的工业废水。近年来印染废水的改性膨润土脱色处理取得了一定进展,吸附机理主要是物理吸附。国内研究表明:经钠化和无机聚合物改性处理的膨润土吸附剂在投加量为0.1%时处理红色印染废水脱色率达88%以上,处理蓝色废水

脱色率达98%,处理后水质达到回用要求;处理酸性大红COD去除率达45%,活性艳红COD去除率为71%,酸性黑COD去除率达60%;使用0.01%膨润土加0.005%的聚合氯化铝,可使以阳离子为主的印染废水脱色率达94%~100%。

2. 在空气污染的治理方面

因蒙脱石等粘土比表面积大、吸附性强,作为吸附过滤材料广泛应用于空气污染的净化。这些矿物经简单的处理之后,即可用于臭气、毒气及有害气体如 NO_x 、 SO_x 、 H_2S 等的吸附过滤。现已成功地用其迅速、有效地去除与腐烂变质物臭气有关的1,4-丁二胺和1,5-戊二胺以及包含在排泄物臭气中的吡啶、丁烷一类气体。

3. 其他方面

除上述用途之外蒙脱石还可用于过滤、清除放射性气体及尘埃;作为阳离子交换剂净化被放射性污染的水体;也可作为危险废物的稳定剂,永久性吸附固化放射性物质;以及机房中静电(软X射线)的吸收等方面。蒙脱石制成的建筑材料具有良好的保温隔热、隔音性能。如用粘土烧制的人工轻质骨料,具有质轻、高强、吸水率低等特点,既可减轻建筑物自重,又可提高建筑物强度。以膨润土等为主要原料可生产人工合成沸石,用来代替传统洗涤剂中的三聚磷酸钠,可大大减少洗涤废水中残余磷对环境的污染。此外,蒙脱石等现已广泛用于油污废塑料、城市垃圾等处理,阻止无机或有机有害污染物的迁移等。

综上所述,随着社会对改善环境质量要求的逐渐提高,改性膨润土水处理剂以原料丰富、价格低廉、吸附性能良好等优点,将越来越多地应用于废水处理中。但关于新型改性膨润土蒙脱石在废水处理中的应用研究还都停留在实验室阶段,而且实验中所用废水绝大多数为模拟废水,并非实际工业废水。工业废水与模拟废水相比更为复杂,影响处理的因素更多。而且这种研究大都是作为吸附剂主要应用于废水处理,而将改性蒙脱石用作絮凝功能材料的研究和专利很少,应用范围较窄。在一些重要领域中的应用,如:油污处理、废塑料处理、城市垃圾处理、空气净化与废气处理和放射性废物处理尚未见报道,因此要将这些实验室的成果应用于实际工业生产中,还有很长的一段路要走。

当前,我国自然生态破坏和环境污染还十分严重,其发展趋势尚未得到控制。究其原因,就在于我国环境科学技术落后,传统的环保工艺及环保材料已经不能有

效地解决大量的日益增长的各种复杂的污染物的处理。因此,只有发展新的环保材料才能很好的解决这一问题。膨润土作为一类重要的非金属矿物,经过多年来国内外众多学者的共同研究,越来越显示其在环保领域中应用的可行性。我国膨润土环保材料具有巨大的发展潜力。这主要是因为我国膨润土矿产资源丰富,总储量居世界前列。虽然我国膨润土在环保方面的开发利用要比先进国家晚得多,膨润土的应用也仅限于原土或酸化后的活性白土等初级产品,至于膨润土的改性复合材料的研究同国外相比还属于起步阶段。但同时也意味着我国在膨润土的开发与应用方面还具有巨大的发展潜力。为此,我国的环保工作者应加强有关膨润土环保材料方面的科研工作,开发出深加工产品,并形成系列,大力推广新的科研成果,使其尽快转化为工业生产力,使膨润土在环保工程中发挥更大的作用。(2003年3月3日收到)

叶长青 硕士,武汉科技学院环境科学研究所,武汉 430073
曾庆福 博士,教授,武汉科技学院环境科学研究所,武汉 430073

- 1 Me Bride M. B., et al. Adsorption of aromatic molecules by clays in aqueous suspension. *Adv. Environ. Sci. Technol.*, 1977; (8)
- 2 Boyd S. A., et al. Pentachlorophenol sorption by organic-clays. *Clays and clay minerals*, 1988; 36
- 3 潘建强. 活性白土质量标准. 非金属矿开发技术动态(中国地质矿产部直管局内部资料), 1992; (2): 2
- 4 Sawhney B. L., et al. Sorption of atrazine by Al^{3+} & Ca^{2+} saturated smectite. *Clay and Clay Minerals*, 1997; 45(3): 333-338
- 5 Pusino A., et al. Dimefipate adsorption & hydrolysis on Al^{3+} , Fe^{3+} , Ca^{2+} and $<Na^{+}$ - montmorillonite. *Clay and Clay Minerals*, 1993; 41

- (3): 335-340
- 6 张金, 鲁安怀等. 富含 Na^{+} , Ca^{2+} , Cu^{2+} , Al^{3+} 和 Cr^{3+} 的蒙脱石对苯酚的吸附性能研究. *非金属矿*, 2001; 24(3): 45-47
- 7 王连军, 黄中华等. 膨润土的改性研究. *工业水处理*, 1999; (1)
- 8 金辉等. 膨润土对汞的吸附性能研究. *水处理技术*, 1999; 25(5)
- 9 鲍世聪等. 交联粘土矿物的吸附特性研究(三)——改性膨润土对水体中苯酚吸附性能研究. *武汉化工学院学报*, 1997; 19(3): 27-30
- 10 孙家寿, 刘羽等. 交联粘土矿物的吸附特性研究. *武汉化工学院学报*, 1997; (1): 34-37
- 11 杭璐等. 膨润土吸附—絮凝法处理污水中的重金属离子. *环境科学研究*, 1994; 7(1): 48-52
- 12 Zielke R. C., Pinnavaia T. J. Modified clays for the adsorption of environmental toxicants: Binding of chlorophenols to pillared, decaminated, and hydroxy interlayered smectites. *Clays and Clay Minerals*, 1988; 36(3): 403-408
- 13 Srinivasan K. R., Fogler S. H. Use of inorganic-organic clays in the removal of priority pollutants from industrial wastewaters: adsorption of benzo(a)pyrene and chlorophenols from aqueous solutions. *Clays and Clay Minerals*, 1990; 38(2): 287-293
- 14 顾曼华等. 有机膨润土吸附硝基苯的性能及其在废水处理中的应用. *水处理技术*, 1994; 20(2): 236-239
- 15 Stalryon M. G., Sparks D. L., Dentl S. K. Sorption of pentachlorophenol to HDTMA - Clay as a function of ionic strength and pH. *Environ. Sci. Technol.*, 1994; 28: 2330-2335

Modification of Bentonite and Its Application in Environmental Protection

Ye Chang-qing^①, Zeng Qing-fu^②

① Master, ② Professor, Research Centre of Environmental Science in Wuhan Institute of Science and Technology, Wuhan 430073

Key words bentonite, modification, environmental protection

自旋电子学的发展及应用

游彪 盛雯婷 孙亮 张维 杜军 胡安

(南京大学固体微结构物理国家重点实验室)

关键词 自旋电子学 巨磁电阻 铁磁金属 自旋极化

本文概括性地介绍了自旋电子学的发展历程以及最新的研究进展,同时简要介绍了自旋电子学的应用实例。

自旋电子学(spintronics),也可以称为磁电子学,是一门磁学和微电子学相交叉的新兴的学科,它研究具有某一自旋状态(自旋向上或自旋向下)的电子的输运特性,是当前凝聚态物理的热点领域之一。

众所周知,电子除了带有电荷的特性外,还具有自

旋的内禀特性。对于普通金属和半导体,自旋向上和自旋向下的电子在数量上是一样的,所以传统的金属电子论往往忽略电子的自旋自由度。但是对于铁磁金属,情况则不同。在铁磁金属中,电子的能带分成两个子带,自旋向上子带和自旋向下子带。这两个子带形状几乎相